

典型的という性質を用いた 知識再構成

萱島 信 , 森 辰則 , 中川 裕志

横浜国立大学 工学部 電子情報工学科

概念階層上で発生した矛盾を解消する際、その原因は、自身の持っている知識より選択することができる。矛盾には複数の原因が考えられるが、我々はその中から一つを選択することができる。

本稿では、矛盾の解消は、その発生した部分だけで行えるものではなく、階層化した知識体系全体で行うべき問題であると規定し、矛盾の発生している世界の集合に対して“より典型的”である矛盾の原因を選択して解消を行うことにより、できるだけ自然な知識体系を再構成することを試みる。

Reorganaization of hierarchical knowledge by typical criterion.

Makoto KAYASHIMA , Tatsunori MORI and Hiroshi NAKAGAWA

Department of Electrical and Computer Engineering,
Yokohama National University, Yokohama 240 Japan.

If we find an inconsistency in a given knowledge base, we must find one cause from the knowledge to make a consistent knowledge base. Generally, there are more than one possible causes of the found inconsistency, we must choose best candidate among them.

In this paper, we propose how to choose the cause of inconsistency under a criterion of "typicality", and try to reconstruct the most natural the consistent knowledge base.

1. はじめに

学習において、獲得した知識についての矛盾を発見すること、それを訂正し正しい知識へ再構成することは重要な位置を占めている。人間は、自分の持っている知識の中で矛盾を発見したとき、「～だから矛盾が発生した」というような、なんらかの納得することのできる理由を捜そうと試みる。しかし、ときとして、納得のいく理由が発見できないことや、理由について深く考察を行わないこともある。このようなタイプの矛盾解消の結果得られた知識は、いわゆる“丸暗記”といわれるもので、忘れやすい不安定な知識になってしまうと考えることができる。

ところで、このような推論を行うためには、矛盾の原因を決定している要因について考える必要がある。我々は、矛盾を発見した場合、同様な知識を含んだ他の事象を取り上げ、類推を行うことによりそれを解消している。すなわち矛盾の解消は、同種の矛盾の発生している事象全体の集合より一番適当である、いいかえれば“より典型的”であるといえる原因を考察する必要があると考えられるのである。

本稿では J. McCarthy の提案した Circumscription を利用して、同一の矛盾が複数個の世界で発生している場合について、その中の一部の世界の集合で、“より典型的”な原因を導きだしながら矛盾を解消し、獲得した知識を再構成する方法について考察することにする。

また、本稿中では、論理的否定は、“-”， Negation as failure は“NOT”で表すことにする。

2. 矛盾解消法の選択

2.1 rule clause を含んだ概念階層の Circumscription

Circumscriptionを利用して矛盾の解消を行うとき、概念階層が rule clause で構成されていれば、abnormal述語の定義として clause の中に含まれる述語を選択することにより、原因を示しながら矛盾を解消することができる。

2.1.1 概念階層における rule clause

概念階層において、ある述語を表現するのに fact を使わず、rule を使うとどのような効果が現れるのだろうか？

(図2.1)

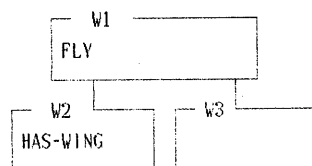
a の場合、FLY は、W1, W2, W3 のすべてで成り立つが、b の場合では、W2 でだけしか成り立たない。すなわち b では FLY が成り立つための条件がきびしくなることになる。これにより、ある部分木の下で選択的に情報を継承し(図2.2)の様に情報量を減らすことができる。

また、複雑な tree構造の概念階層では、HEAD が同一で BODY が違う clause の取り扱いについて考える必要がある。これについては、

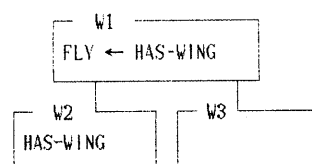
A. 同じ HEAD の出現する最上位の世界に集める。

B. 別の述語と考えて出現した各々の世界に assert する。等の考え方があるが、(図2.2)と同様な扱いにするため、ここでは A. を採用する。(図2.3)ただし、この場合、矛盾をチェックするときは、同じ headをもつ、すべ

ての clause について調べる必要がある。

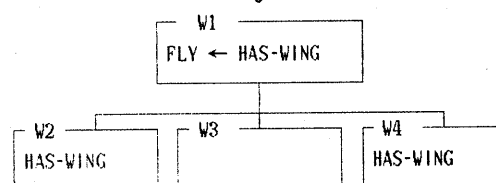
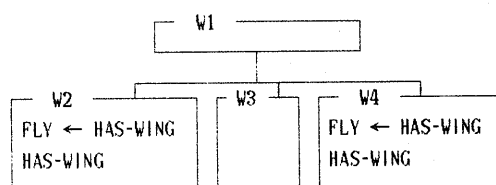


a factだけでできている場合

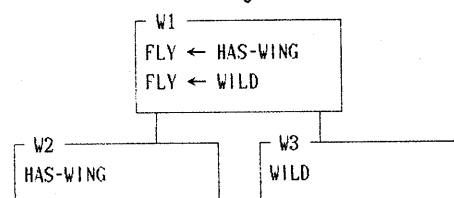
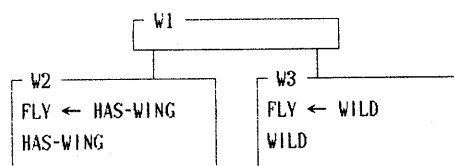


b ruleを使う場合

(図2.1) ruleを使った効果



(図2.2) 選択的な情報継承



(図2.3) body の違う clause の扱い

2.1.2 rule を使ったモデルによる Circumscription

rule の入った概念階層モデルでは、fact だけの時と比べると、矛盾に関与する世界の数が増えることが考えられる。例えば、(図2.4)の様な場合を考えてみる。

(図2.4)を単一世界で表現すると、clause の中に世界名を取り入れて

HAS-WING $\leftarrow$ w1 (2.1)

FLY $\leftarrow$ HAS-WING , w2 (2.2)

$\neg$ FLY $\leftarrow$ WING-WEAK , w3 (2.3)

WING-WEAK $\leftarrow$ w4 (2.4)

のようになる。

この場合、矛盾を解消するには、二通りの方法が考えられる。

a.(2.2)の定義を変化させる方法

Circum[{{(2.2),(2.3)};ab;FLY}]



“~でなければ飛ぶ”として矛盾を解消

b.(2.1)の定義を変化させる方法

Circum[{{(2.1),(2.2),(2.3)};ab;FLY,HAS-WING}]



“~でなければ羽を持つ、羽を持てば飛ぶ”として間接的に矛盾を解消

また、矛盾は FLY について w4 で発生している。この矛盾解消に(2.3)だけを用いて、(2.4)を使用しないと、生成するclauseは、

“羽が弱くなければ~である” もしくは、

“w3でなければ~である”

である。

しかし、部分実行して(2.4)を(2.3)に代入すると、今度は

“w4でなければ~である”

だけ生成し、“羽が弱くなければ~である”が、ぬけおちてしまう。我々が望んでいる結果は、

“羽が弱くなければ~である”と、

“w4でなければ~である”

なのである。このため、矛盾を解消するためには、(2.3)を $\neg$ FLY $\leftarrow$ WING-WEAK , w4 (2.5)

としなければならない。

ここで、注意しなければならないのは、変化を許す述語が fact で構成されている場合、単一世界に展開したとき必ず付加される世界名を用いて “~の世界でなければ~である”として矛盾を解消することになる。これは、いうなれば、矛盾の原因を考えずに、結果だけ丸暗記することに等しい。

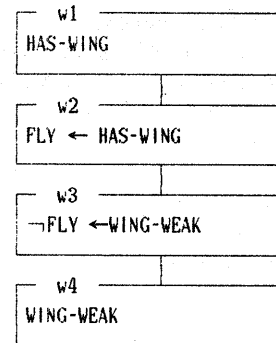
2.2 矛盾原因の選択

矛盾の原因として abnormal 述語の定義と考えられる述語は、clause の BODY に依存しているので、一つとは限らず、いくつもある場合も考えられる。Circumscription を用いた場合、これらの clause は選言で記述されているが、矛盾を解消するために、すべての clause が必要なのではない。一般にこの方法では、矛盾の原因を記述している clause の数は多くなり、適切な矛盾の原因を同定しにくい。

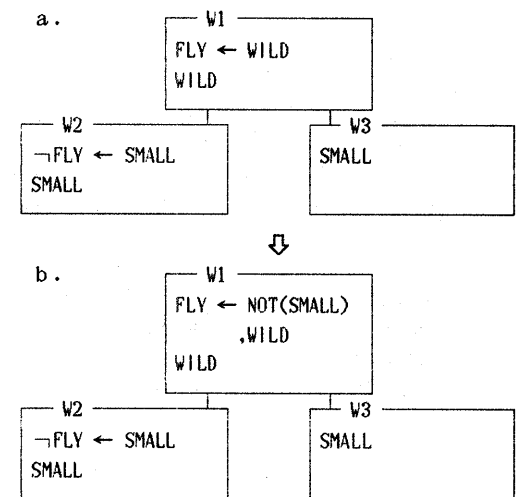
そこで、矛盾の“より典型的”な原因として、これらのうちから最も自然であると考えられる clause を選択する方法について考えてみる。

2.2.1 矛盾の原因を選択する要因

矛盾の原因となる abnormal 述語の定義の述語の条件は、当然の事ながら、矛盾の原因に成り得る述語でなければならない。さらに、この述語は、矛盾の成り立っていない他の世界には含まれていてはならない。次の例を考えてみよう。(図2.5)



(図2.4) ruleの入った概念階層



(図2.5) 誤った矛盾解消

この矛盾解消において次の公理系

$$\{ \text{FLY} \leftarrow \text{WILD} \wedge w1, \neg \text{FLY} \leftarrow \text{SMALL} \wedge w2 \}$$

を用いて矛盾解消を行うと、

$$\text{Circum}[(A1); ab; \text{FLY}]$$

$$= \text{FLY} \leftarrow \text{NOT}(\text{SMALL}), \text{WILD}, w1 \quad (2.6)$$

$$\vee \text{FLY} \leftarrow \text{NOT}(w2), \text{WILD}, w1 \quad (2.7)$$

a. で述語 FLY について矛盾が発生しているのは、世界 w2 だけであり、w3 では発生していない。このため、述語 SMALL をこの矛盾を解消する abnormal 述語の定義として選択すると、b. の様になり、w3 で述語 FLY が成り立たなくなってしまう。これを避けるために、矛盾の原因となる述語は、矛盾の発生していない世界には含まれていないものでなければならない。すなわち、この場合は (2.6) を選択しなければならないのである。

また、複数の世界で同一の述語について矛盾が発生している場合、一つの述語で矛盾を起こしている世界をすべてカバーできるとは限らない。そこで、解消に必要な述語が

複数になったときには、その数ができるだけ少なくなるようにしたい。

以上より、矛盾の原因として

1. 矛盾の原因になりうる述語
2. 矛盾が発生していない世界には含まれない
3. 矛盾が発生している世界でなるべく共通している

II

(“より典型的”)

の三つの条件を満たした述語を探す必要がある。

例として、次のような rule を含んだ概念階層を考えてみる

スロットの包含関係より概念階層モデルは(図2.6)の様に表される。そこで、このモデルに対して

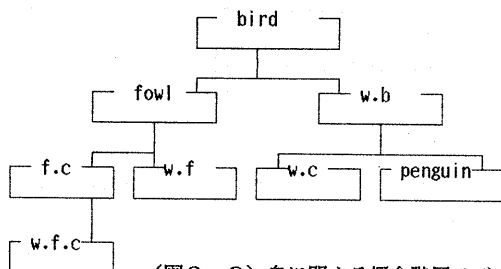
A. 階層化することにより、同じ情報は、継承させて、最も陽に表現する情報量を減らし

B. さらに継承させることによって生じる矛盾の数を最小にする

事を考慮して継承ルートを構築する。

(表2.1) 鳥の世界に関する概念階層

bird	fowl	w.b	f.c
FLY $\leftarrow$ HAS-WING	$\neg$ FLY $\leftarrow$ WING-WEAK , DOMESTIC	FLY $\leftarrow$ WILD	$\neg$ FLY $\leftarrow$ WING-WEAK , DOMESTIC , SMALL
LAY-EGGS HAS-WING	LAY-EGGS HAS-WING DOMESTIC WING-WEAK	LAY-EGGS HAS-WING WILD	$\neg$ LAY-EGGS $\leftarrow$ SMALL HAS-WING DOMESTIC WING-WEAK SMALL
w.f	w.c	penguin	w.f.c
FLY $\leftarrow$ WILD	$\neg$ FLY $\leftarrow$ WING-WEAK , SMALL	$\neg$ FLY $\leftarrow$ WING-WEAK	$\neg$ FLY $\leftarrow$ WING-WEAK , SMALL
LAY-EGGS HAS-WING $\neg$ DOMESTIC $\leftarrow$ WILD WING-WEAK WILD	$\neg$ LAY-EGGS $\leftarrow$ SMALL HAS-WING WING-WEAK WILD SMALL	LAY-EGGS HAS-WING WING-WEAK WILD INHABITANCY-ANTARCTICA	$\neg$ LAY-EGGS $\leftarrow$ SMALL HAS-WING $\neg$ DOMESTIC $\leftarrow$ WILD WING-WEAK WILD SMALL



(図2.6) 鳥に関する概念階層モデル

この概念階層モデルで発生している矛盾は、(表2.2)のようになる

これらの原因の中から、矛盾の原因を決定する。この概念階層で、世界 f.c で FLY について発生している矛盾に対して circumscribe すると

(FLY $\leftarrow$ HAS-WING, BIRD, NOT(SMALL)) (2.8)
 $\vee$ (FLY $\leftarrow$ HAS-WING, BIRD, NOT(DOMESTIC)) (2.9)
 $\vee$ (FLY $\leftarrow$ HAS-WING, BIRD, NOT(WING-WEAK)) (2.10)

である。矛盾の解消にはこれらのうち一つを選択すれば十分である。しかし、この中で出現する DOMESTIC は、w.f, w.f.c で矛盾を起こしている。このため、矛盾の解消に (2.9) を選択すると Prioritized circumscription になり、矛盾解消の実行順序 (DOMESTIC と FLY で、どちらを優先的に解消するのか?) が問題になる。

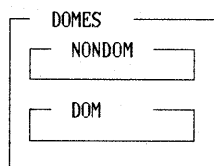
この順序は、他の世界に与える影響が少ない下位の世界に発生した矛盾から解消するべきで、DOMESTIC は、FLY より先に矛盾を解消しなければならないと考えられる。

(表2.2) 概念階層で発生している矛盾

矛盾している述語	世界名	原因になりうる述語
FLY	fowl	DOMESTIC, WING-WEAK
	f.c	SMALL, DOMESTIC, WING-WEAK
	w.c	SMALL, WING-WEAK
	penguin	WING-WEAK
	w.f.c	SMALL, WING-WEAK
LAY-EGGS	w.c	SMALL
	w.f.c	SMALL
	f.c	SMALL
$\neg$ FLY	w.f	WILD
DOMESTIC	w.f	WILD
	w.f.c	WILD

① DOMESTIC の矛盾解消

DOMESTIC は、世界 fowl に assert されている。概念階層全体で、この情報を持つ世界の集合を取り出し、その中で矛盾が発生している世界の集合と、発生していない集合に分類する。



(図2.7) 集合の関係

fowl の DOMESTIC が見えている世界の集合
 $DOMES = \{ fowl, f.c, w.f, w.f.c \}$

その中で矛盾している世界の集合

$NONDOM = \{ w.f, w.f.c \}$

矛盾を起こしていない世界の集合

$DOM = \{ fowl, f.c \}$

矛盾の原因になりうる述語のうち NONDOM にできるだけ共通で、DOM に含まれない情報は WILD

よって、これを使って DOMESTIC の矛盾を解消すると
 $DOMESTIC \leftarrow \text{NOT(WILD)}$ (2.11)

になる。

ここで、w.f の矛盾解消結果は、次のようになる。

$(\text{DOMESTIC} \leftarrow \text{NOT}(\text{WILD})) \vee (\text{DOMESTIC} \leftarrow \text{NOT}(w.f))$

また、w.f.c の矛盾解消結果は、

$(\text{DOMESTIC} \leftarrow \text{NOT}(\text{WILD})) \vee (\text{DOMESTIC} \leftarrow \text{NOT}(w.f.c))$

である。各世界の矛盾解消には連言の中から clause を一つ選択すれば良い。概念階層全体では共通したものを選択すれば情報量が減らせるので、w.f , w.f.c 共に

$\text{DOMESTIC} \leftarrow \text{NOT}(\text{WILD})$

を選択する という解釈もできる。

② $\neg$ FLY の矛盾解消

$\neg$ FLY は、世界 fowl に

$\neg$ FLY $\leftarrow$ WING-WEAK , SMALL

$\neg$ FLY $\leftarrow$ WING-WEAK , DOMESTIC

という形で assert されている

fowl の $\neg$ FLY の見えている世界の集合

$\text{NOTFLY} = \{ \text{fowl} , f.c , w.f , w.f.c \}$

その中で矛盾を起こしている世界の集合

$\text{FLY} = \{ w.f \}$

矛盾を起こしていない世界の集合

$\text{NONFLY} = \{ \text{fowl} , f.c , w.f.c \}$

矛盾の原因になりうる述語のうち FLY にできるだけ共通で、NONFLY に含まれない情報なし

よって矛盾を解消するためには、NOT(世界名)を使用し

$\neg$ FLY $\leftarrow$ WING-WEAK

SMALL $\leftarrow$ NOT(w.f)

$\neg$ FLY $\leftarrow$ WING-WEAK

DOMESTIC $\leftarrow$ NOT(w.f)

(2.12)

の形にしなければならない。

③ LAY-EGGS の矛盾解消

LAY-EGGS は、世界 bird に assert されている
bird の LAY-EGGS が見えている世界の集合は、

$\text{LAYEG} = \{ \text{bird} , \text{fowl} , w.b , f.c , w.f , w.c , \text{penguin} , w.f.c \}$

矛盾を起こしている世界の集合

$\text{NONLAY} = \{ f.c , w.c , w.f.c \}$

矛盾を起こしていない世界の集合

$\text{LAY} = \{ \text{bird} , \text{fowl} , w.b , w.f , \text{penguin} \}$

矛盾の原因になりうる述語のうち NONLAY にできるだけ共通で、LAY に含まれない情報

SMALL

これを用いて、LAY-EGGS の矛盾解消をすると

$\text{LAY-EGGS} \leftarrow \text{NOT}(\text{SMALL})$ (2.13)

になる

④ FLY の矛盾解消

FLY という情報は、世界 bird に

FLY $\leftarrow$ HAS-WING

FLY $\leftarrow$ WILD

という形で assert されている

bird の FLY が見えている世界の集合

$\text{FLY} = \{ \text{bird} , \text{fowl} , w.b , f.c , w.f , w.c , \text{penguin} , w.f.c \}$

矛盾を起こしている世界の集合

$\text{NONFY} = \{ \text{fowl} , f.c , w.c , \text{penguin} , w.f.c \}$

矛盾を起こしていない世界の集合

$\text{FY} = \{ \text{bird} , w.b , w.f \}$

矛盾の原因になりうる述語のうち NONFY にできるだけ共通で、FY に含まれない情報

SMALL ... f.c , w.c , w.f.c

DOMESTIC ... fowl , f.c

penguin では該当する述語が存在しないため、NOT(世界名)を用いて矛盾を解消することになる。

FLY $\leftarrow$ HAS-WING ,

NOT(SMALL) ,

NOT(DOMSETIC) , NOT(penguin)

FLY $\leftarrow$ WILD ,

NOT(SMALL) ,

NOT(DOMSETIC) , NOT(penguin)

(2.14)

ここで、先に矛盾解消して、定義が変化している
DOMESTIC を部分評価して代入すると、

FLY $\leftarrow$ HAS-WING ,

WILD

NOT(SMALL) , NOT(penguin)

(2.15)

FLY $\leftarrow$ WILD ,

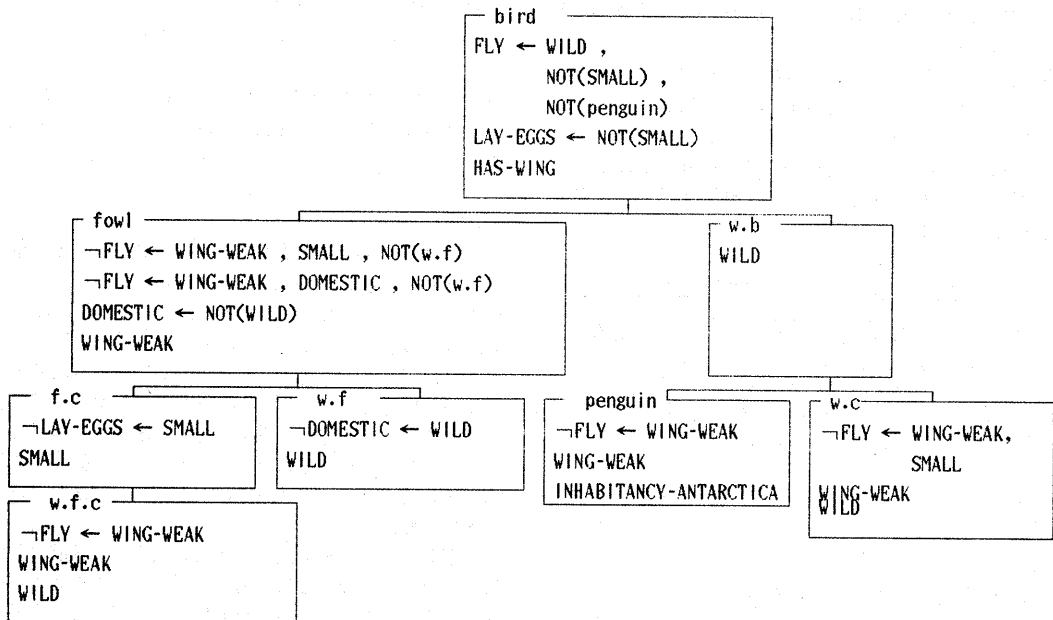
NOT(SMALL) , NOT(penguin)

になり、上の clause は消去できて、

$$\text{FLY} \leftarrow \text{WILD}, \text{NOT}(\text{SMALL}), \text{NOT}(\text{penguin}) \quad (2.16)$$

だけになる。これは、単独に矛盾を解消した場合や、
 priority を逆にして FLY に関する矛盾から先に解消

し、しかる後に DOMESTIC の矛盾を解消した場合と比較すると、複数の矛盾解消の結果を融合することによって、よりコンパクトな知識を生成することができるという点において非常に興味深いものである。これによる矛盾解消の結果を（図2.8）に挙げる



（図2.8）矛盾解消後の概念階層

2.2.2 “より典型的”な情報

2.2.1 により、概念階層モデルで矛盾を解消することができた。ここで、先に挙げた

1. 矛盾の原因になりうる述語
2. 矛盾が発生していない世界には含まれない
3. 矛盾が発生している世界でなるべく共通している

の条件のうち、1.と2.の条件は、矛盾を解消する述語の必要条件である。しかし、3.の条件は、「なるべき」になっている。これについて少し考えてみる。

すべての矛盾した世界をカバーするのは、一つの述語で必ずしも行えるわけではなく、複数の述語でカバーする場合もある。また、使用する述語の組も、一通りだけではない。例えば先の④（FLY に関する矛盾）では、1.と2.の条件を満たしている述語は、

DOMESTIC , SMALL

と、表には現れていないが、矛盾を起こしている世界の名前

fowl , f.c , w.c , penguin , w.f.c

もある。そこで、矛盾解消の結果として

$$\begin{aligned} &\text{FLY} \leftarrow \text{HAS-WING}, \\ &\quad \text{WILD}, \\ &\quad \text{NOT}(\text{fowl}), \\ &\quad \text{NOT}(\text{f.c}), \\ &\quad \text{NOT}(\text{w.c}), \text{NOT}(\text{penguin}), \text{NOT}(\text{w.f.c}) \\ &\text{FLY} \leftarrow \text{WILD}, \\ &\quad \text{NOT}(\text{fowl}), \\ &\quad \text{NOT}(\text{f.c}), \\ &\quad \text{NOT}(\text{w.c}), \text{NOT}(\text{penguin}), \text{NOT}(\text{w.f.c}) \end{aligned} \quad (2.17)$$

を提示することもできる。しかし、この形では、BODY の clause がどうしても増大してしまうことになる。矛盾の原因として、

DOMESTIC , SMALL

を用いると、情報量を減らすことができる。

そこでこの様な情報を“より典型的”な情報とすれば、“より典型的”とは

「ある世界の集合において、その情報を含む世界の数が多い」

と定義することができる。これは、絶対的なものではなく、相対的であり、他の述語と比較して初めて意味を持つものである。

例えば、chicken の集合において assert されている情報(属性)と、その情報の“より典型的”な順位は、次のようになる。(表2.3)

(表2.3) “より典型的”な順位表

属性	assertされる世界	数	順位
¬FLY	f.c , w.c , w.f.c	3	1
¬LAY-EGGS	f.c , w.c , w.f.c	3	1
HAS-WING	f.c , w.c , w.f.c	3	1
¬DOMESTIC	w.f.c	1	3
DOMESTIC	f.c	1	3
WILD	w.c , w.f.c	2	2
SMALL	f.c , w.c , w.f.c	3	1
WING-WEAK	f.c , w.c , w.f.c	3	1
f.c	f.c	1	3
w.c	w.c	1	3
w.f.c	w.f.c	1	3

これより、chicken の集合において、もっとも“より典型的”な情報は、

¬FLY , ¬LAY-EGGS , HAS-WING ,
SMALL , WING-WEAK

ということになる。

矛盾の解消において必要な条件を満たす述語の選択は、まず 1. を満たす述語を調べ、その中で 2. を満たさない述語を除外したものについて 3. を適用することになる。

④の場合、¬FLY の世界の集合に対し、1. 2. の条件を満たす情報の“より典型的”な順位は、

SMALL (f.c , w.c , w.f.c)

DOMESTIC (fowl , f.c)

fowl , f.c , w.c , penguin , w.f.c

の順になり、全ての世界をカバーするためには、順位の高いものから使用して SMALL , DOMESTIC , penguin を矛盾原因として選択するのが自然であると考えられる。

3. 終わりに

本稿では、人間の“常識”による推論を論理的に表現することのできる Circumscription を用いて、概念階層上の矛盾を解消する方法について考察してきた。そこで、矛盾解消の方法についても、大きく分けて原因を推定できるケースと、人間でいえば“丸暗記”に相当すると考えられるケースに分類できることが判った。複数個の原因候補のうちから一つを特定し矛盾を解消する推論は、局所的に行えるものではなく、概念階層全体で“より典型的”な矛盾原因を推定することによって行うべきものであるということがいえた。

しかし、今まで取り扱ってきた方法では、矛盾の発生を抑えるために、概念階層の構造に対して、より大きな変更を行うことについては考慮していない。そこで、今後の課題としては、矛盾解消の結果として、概念階層の構造を変化させることが可能なケースについての考察を行うべきであると考えられる。また、実際の人間の記憶を考えてみると、概念階層全体を常に update している訳ではない。そこで、概念階層に対する focusing の問題についても考えていかなければならないだろう。

【参考文献】

- (1)J.McCarthy : "Circumscription - a form of nonmonotonic reasoning" Artificial Intelligence 13(1980)
- (2)V.Lifschitz : "COMPUTING CIRCUMSCRIPTION", Proceedings Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence(1985)
- (3)D.R.Hofstadter:「ゲーデル、エッシャー、バッハ あるいは不思議の環」白揚社(1985)
- (4)R.L.Klatzky :「記憶のしくみⅡ 認知心理学的アプローチ」サイエンス社(1982)
- (5)D.E.Rumelhart :「人間の情報処理 新しい認知心理学へのいざない」サイエンス社(1979)
- (6)中島 :「知識表現とProlog/KR」産業図書(1985)
- (7)森、中川 :「論理型言語における circumscription」第46回知識工学と人工知能研究会資料(1986)
- (8)森、中川 :「Circumscriptionを用いた概念学習」第47回知識工学と人工知能研究会資料(1986)
- (9)赤間、小笠原 :「概念管理システム」第47回知識工学と人工知能研究会資料(1986)